

**ANALISIS PENGUJIAN PEMUTUS TENAGA *BAY* GONDANGREJO 2  
DALAM PEMELIHARAAN DUA TAHUNAN DI GARDU INDUK PALUR**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**IRWAN PRANOMO**

**D400150067**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2019**

## HALAMAN PERSETUJUAN

# ANALISIS PENGUJIAN PEMUTUS TENAGA *BAY* GONDANGREJO 2 DALAM PEMELIHARAAN DUA TAHUNAN DI GARDU INDUK PALUR

## PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

**IRWAN PRANOMO**

**D400 150 067**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

 *Agus, 2/1 2019*

**Agus Supardi, ST, MT.**

**NIK. 883**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGUJIAN PEMUTUS TENAGA *BAY* GONDANGREJO 2  
DALAM PEMELIHARAAN DUA TAHUNAN DI GARDU INDUK PALUR**

**OLEH**  
**IRWAN PRANOMO**  
**D400150067**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari *10 Januari 2019*  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Dewan Penguji:**

1. Agus Supardi, S.T., M.T.  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Umar, S.T., M.T.  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Aris Budiman, S.T., M.T.  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)  
(.....)  
(.....)



**Dekan,**

**Ir. Sri Soenarjono, MT., PhD**

**NIK. 682**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

**Surakarta, 02 Januari 2019**

Penulis



**IRWAN PRANOMO**

**D400150067**

# ANALISIS PENGUJIAN PEMUTUS TENAGA *BAY* GONDANGREJO 2 DALAM PEMELIHARAAN DUA TAHUNAN DI GARDU INDUK PALUR

## Abstrak

Gardu induk merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Salah satu peralatan listriknya adalah pemutus tenaga (PMT) yang merupakan saklar yang digunakan untuk menghubungkan atau memutus hubungan tenaga listrik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal/gangguan. Untuk tetap menjaga keandalan PMT perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala. Pemeliharaan PMT dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan dan uji keserempakan kontak PMT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemeliharaan p PMT terhadap keandalan PMT tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan data hasil pemeliharaan PMT dalam beberapa periode pemeliharaan terakhir. Penelitian dilakukan pada PMT *bay* Gondangrejo 2 di gardu induk Palur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengujian tahanan isolasi memiliki nilai yang bervariasi dalam beberapa periode pemeliharaan, kemampuan isolasi pada masing-masing fasa juga berbeda-beda. Kemudian pada pengujian tahanan kontak nilainya selalu mengalami kenaikan dalam setiap periode pemeliharaan tetapi masih dalam batas yang diijinkan. Tahanan pentanahan pada PMT juga dalam kondisi baik, karena dalam 3 periode pemeliharaan nilainya selalu sama yaitu  $0,3 \Omega$ . Pada pengujian keserempakan kontak, waktu kerja kontak secara individu berada dalam standar yang diijinkan yaitu di bawah 120 mili detik, tetapi pada tahun 2016 selisih waktu kerja antar fasa adalah 10,9 mili detik. Nilai tersebut tidak sesuai dengan standar yang diijinkan yaitu  $<10$  mili detik, hal tersebut tentunya perlu dilakukan perbaikan terhadap kontak PMT. Secara keseluruhan dengan adanya pemeliharaan pemutus tenaga, keandalan PMT *bay* Gondangrejo 2 tetap terjaga keandalannya sehingga PMT dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

**Kata Kunci:** keserempakan kontak, pemutus tenaga, tahanan kontak, tahanan isolasi, tahanan pentanahan.

## Abstract

Substation is a part of electric power transmission system that serves to reduce voltage. One of the electrical equipment is a circuit breaker (CB) which is a switch that is used to connect or disconnect electrical power in normal or abnormal conditions / disturbances. To maintain the reliability of CB, it is necessary to do regular maintenance. Maintenance of CB is done by testing the insulation resistance, contact resistance, grounding resistance and CB contact synchronization test. This research aims to determine the effect of maintenance of CB on the reliability of the CB. This research was conducted by comparing data on CB maintenance results in the last few maintenance periods. The research was conducted at CB bay Gondangrejo 2 at the Palur substation. The results showed that the insulation resistance test had varying values in several maintenance periods, the insulation ability of each phase also varied. Then in testing of the contact resistance the value always increases in each maintenance period but it is still within the allowable limit. The grounding resistance of CB are also in good condition, because in 3

maintenance periods the value is always the same, namely 0,3  $\Omega$ . In contact synchronization testing, the working time of individual contacts is within the permitted standard, which is under 120 milliseconds, but in 2016 the difference in working time between phases is 10,9 milliseconds. This value is not in accordance with the permitted standard, which is <10 milliseconds, of course, it is necessary to repair CB contacts. Overall, with the maintenance of circuit breakers, the reliability of CB bay Gondangrejo 2 is maintained so that CB can work properly in accordance with its functions.

**Keywords:** contact synchronization, circuit breaker, contact resistance, insulation resistance, grounding resistance

## 1. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan bagian dari sistem kelistrikan yang ada di Indonesia yang berfungsi mentransformasikan daya listrik. Gardu induk mempunyai peralatan-peralatan sebagai pendukung kinerjanya. Untuk tetap menjaga keandalan peralatan-peralatan tersebut, perlu adanya pemeliharaan secara berkala. Pemeliharaan merupakan salah satu hal terpenting yang harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem transmisi tenaga listrik. Peralatan akan tetap terjaga keandalannya dengan adanya pemeliharaan yang dilakukan secara berkala. Hal tersebut akan membuat kebutuhan energi listrik ke konsumen akan terlayani dengan baik, selain itu harga peralatan sistem tenaga listrik yang mahal mendorong perlunya pemeliharaan secara berkala. Salah satu peralatan yang dilakukan pemeliharaan rutin yaitu pemutus tenaga (PMT).

Pemutus tenaga (PMT) adalah saklar mekanis yang mampu mengalirkan dan memutus arus beban dalam keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal/gangguan sesuai dengan nilai ratingnya. Pemutus tenaga merupakan saklar mekanis yang dirancang untuk melihat kondisi dan titik kerusakan pada gardu induk (Lal, 2013). PMT akan bekerja saat terjadi gangguan, PMT akan membuka (*open*) saat terjadi gangguan hubung singkat pada sistem transmisi di gardu induk (Kandhikar, 2013). PMT mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem di gardu induk, karena PMT merupakan peralatan yang akan memutus arus beban saat adanya gangguan. Apabila PMT tidak dapat bekerja saat adanya gangguan maka akan menyebabkan kerusakan pada peralatan lain. Dengan demikian, diharapkan adanya pemeliharaan secara berkala dapat membuat peralatan listrik bekerja lebih lama dengan performa maksimal, sehingga pelayanan terhadap konsumen tetap terjaga dengan baik.

Pemeliharaan pemutus tenaga diperlukan karena pentingnya peralatan tersebut untuk memutus dan mengalirkan tenaga listrik serta untuk perlindungan terhadap peralatan lainnya. Terputusnya sistem transmisi tenaga listrik dan kerusakan peralatan dapat terjadi jika pemutus tenaga gagal beroperasi karena kurangnya pemeliharaan preventif (Sharma & Bharadwa, 2012). Pemeliharaan PMT dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap semua komponen yang ada di pemutus tenaga

diantaranya adalah melakukan pengujian terhadap tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan dan keserempakan kontak PMT.

Pengukuran tahanan isolasi PMT adalah untuk mengetahui seberapa besar kebocoran arus (*leakage current*) yang terjadi antara bagian yang bertegangan terhadap tanah. Dengan adanya pengujian tahanan isolasi diharapkan nilai tahanan isolasi masih dalam batas nilai yang dianjurkan, sehingga tidak terjadi hubungan arus dengan terminal fasa lainnya yang disebabkan nilai tahanan isolasi yang terlalu rendah. Pengujian tahanan kontak dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi teknis yang disebabkan adanya titik-titik sambungan. Nilai tahanan kontak diharapkan sekecil mungkin agar rugi rugi daya yang diakibatkan oleh tahanan kontak dapat diminimalisir. Pengujian tahanan pentanahan dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan terminal terhadap tanah, semakin kecil nilainya maka akan semakin baik. Pengujian keserempakan PMT bertujuan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka.

Gardu induk rayon Palur memiliki 9 *bay* (jalur) salah satunya adalah *bay* Gondangrejo 2. *Bay* Gondangrejo 2 merupakan jalur yang menyuplai daya ke gardu induk Palur. Pemutus tenaga (PMT) *bay* Gondangrejo 2 menggunakan tipe pemutus tenaga dengan tahanan isolasi gas SF<sub>6</sub>. Gas SF<sub>6</sub> dan karakteristiknya ditemukan di tahun 1920-an tetapi pengembangan gas SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi diterapkan untuk rangkaian pemutus dimulai pada 1940-an. Namun, sirkuit pemutus SF<sub>6</sub> pertama kali datang ke pasar pada tahun 1960-an (Saravanan dkk, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana keandalan dan kelayakan pemutus tenaga (PMT) *bay* Gondangrejo 2 di gardu induk Palur setelah dilakukan pemeliharaan dua tahunan. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh pemeliharaan secara berkala terhadap keandalan PMT dengan membandingkan hasil pengujian PMT dalam beberapa periode pemeliharaan.

## **2. METODE**

### **2.1. Rancangan Penelitian**

Dalam menyelesaikan penelitian ini penulis membuat rancangan penelitian dengan 3 tahapan sebagai berikut:

#### **a). Study literatur**

Study literatur merupakan proses pengumpulan kajian teoritis dari buku-buku, penelitian sebelumnya, serta jurnal-jurnal yang ada kaitannya dengan permasalahan yang akan dibahas yang digunakan sebagai pendukung teori untuk menyelesaikan penelitian “Analisis Pengujian Pemutus Tenaga *Bay* Gondangrejo 2 dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Palur”.

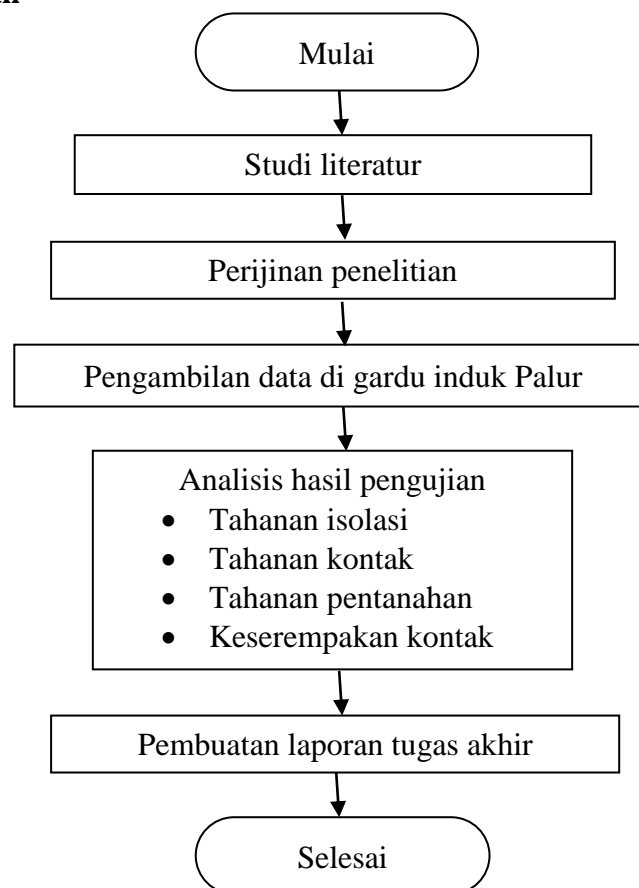
### b). Pengumpulan Data

Penulis mengumpulkan data sebagai pendukung penelitian ini yang ada di PT. PLN (Persero) UIT-JBT UPT Salatiga untuk data yang ada di gardu induk rayon Palur. Data yang diperoleh dengan mengikuti prosedur yang ada di PT. PLN (Persero) UIT-JBT UPT Salatiga, yaitu dengan mengirimkan proposal dan surat izin pengambilan data dari pihak universitas. Setelah mendapat surat balasan kemudian dilakukan pengambilan data yang sesuai dengan permasalahan yang akan dibahas. Selain itu penulis juga melakukan pengamatan langsung di gardu induk rayon Palur dan juga mengumpulkan informasi tentang pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) kepada pegawai yang ada di gardu induk rayon Palur. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain yaitu data pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) *bay* Gondangrejo 2 selama 3 periode pemeliharaan terakhir, kemudian data arus yang mengalir pada PMT *bay* Gondangrejo 2 dan data *nameplate* PMT yang terpasang di *bay* Gondangrejo 2.

### c). Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan sudah terkumpul semua. Data-data yang didapatkan akan dianalisis sesuai dengan teori yang sudah ada. Dalam menganalisis data yang didapatkan, semua perhitungan dilakukan secara manual tanpa menggunakan metode apapun.

## 2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian Tugas Akhir



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi merupakan proses pengukuran menggunakan suatu alat ukur untuk memperoleh nilai tahanan isolasi pemutus tenaga pada bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap tanah maupun antara terminal atas dengan terminal bawah. Semakin besar nilai tahanan isolasinya maka akan semakin baik. Jika nilai tahanan isolasinya rendah ditakutkan akan adanya kegagalan isolasi pada pemutus tenaga. Proses pengukuran tahanan isolasi dilakukan sesuai prosedur yang sudah ada, yang pertama adalah pemasangan pentanahan lokal (*local grounding*) kemudian pembersihan permukaan *porcelain bushing* setelah itu baru dilakukan pengukuran tahanan isolasi dalam kondisi terbuka (*open*) dan kondisi tertutup (*close*). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur megger dengan tegangan uji 5 kV. Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga bay Gondangrejo 2 di gardu induk Palur dalam beberapa periode pemeliharaan.

Tabel 1. Data hasil pengukuran tahanan isolasi

Tahun	Titik Ukur	R (M $\Omega$ )	S (M $\Omega$ )	T (M $\Omega$ )
2014	Atas – bawah ( <i>off</i> )	72.800	141.000	267.000
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	22.000	37.000	7.170
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	56.400	>10000000	74.800
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	22.000	37.000	7.170
2016	Atas – bawah ( <i>off</i> )	37.500	6.660	23.800
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	37.800	37.000	24.000
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	86.000	138.000	113.000
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	87.000	139.000	119.000
2018	Atas – bawah ( <i>off</i> )	231.000	212.000	146.000
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	105.000	173.000	114.000
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	96.000	89.000	80.000
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	232.000	212.000	148.000

Batasan tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) menurut VDE (catalogue 228/4) nilai minimum tahanan isolasi yaitu “1 kilo Volt = 1 M $\Omega$  (Mega Ohm)”. Dengan artian 1 kV harus memiliki kemampuan mengisolasi tegangan sebesar 1 M $\Omega$ . Sebagai contoh hasil pengujian tahanan isolasi fasa-tanah di fasa R pada tahun 2014 adalah 22.000 M $\Omega$  dengan tegangan uji 5 kV, kemampuan isolasinya adalah 22.000 M $\Omega$ /5 kV= 4.400 M $\Omega$ /kV. Nilai tersebut sudah memenuhi standar yang ditetapkan. Berikut adalah tabel hasil perhitungan kemampuan isolasinya.

Tabel 2. Hasil perhitungan kemampuan isolasi PMT

Tahun	Titik Ukur	R (M $\Omega$ /kV)	S (M $\Omega$ /kV)	T (M $\Omega$ /kV)
2014	Atas – bawah ( <i>off</i> )	14.560	28.200	53.400
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	4.400	7.400	1.434
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	11.280	>1.000.000	14.960
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	4.400	7.400	1.434
2016	Atas – bawah ( <i>off</i> )	7.500	1.332	4.760
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	7.560	7.400	4.800
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	17.200	27.600	22.600
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	17.400	27.800	23.800
2018	Atas – bawah ( <i>off</i> )	46.200	42.400	29.200
	Atas – tanah ( <i>off</i> )	21.000	34.600	22.800
	Bawah – tanah ( <i>off</i> )	19.200	17.800	16.000
	Fasa – tanah ( <i>on</i> )	46.400	42.400	29.600

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa di setiap fasa memiliki nilai kemampuan mengisolasi yang berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi pada masing masing isolator. Jika pada isolator banyak kotoran yang menempel tentunya akan mengurangi kemampuan mengisolasinya. Pada fasa T kemampuan isolasinya relatif kecil dibandingkan fasa R dan fasa S, pada tahun 2014 kemampuan isolasi fasa T dalam posisi PMT menutup (*close*) adalah 1.434 M $\Omega$ /kV yang merupakan nilai terendah dalam 3 periode pemeliharaan terakhir. Pengukuran yang dilakukan dalam kondisi PMT menutup (*close*) rata rata memiliki kemampuan isolasi yang lebih baik dibandingkan pada saat pengukuran dilakukan dalam posisi membuka (*open*). Secara keseluruhan dalam setiap periode

pemeliharaan nilai kemampuan isolasi selalu mengalami kenaikan, hal tersebut membuktikan bahwa dengan adanya pemeliharaan secara berkala membuat kemampuan isolasi pemutus tenaga (PMT) tetap terjaga keandalannya sehingga adanya gangguan yang disebabkan kegagalan isolasi pada PMT dapat dihindari.

### 3.2 Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian tahanan kontak dilakukan untuk mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga (PMT) yang diakibatkan adanya titik-titik sambungan yang menyebabkan timbulnya rugi-rugi daya. Semakin besar nilai tahanan kontak maka akan semakin besar rugi daya yang ditimbulkan. Berikut adalah tabel hasil pengujian tahanan kontak dalam beberapa periode pemeliharaan dan data arus yang mengalir pada *bay* Gondangrejo 2.

Tabel 3. Data hasil pengukuran tahanan kontak

Tahun	Titik Ukur	R ( $\mu\Omega$ )	S ( $\mu\Omega$ )	T ( $\mu\Omega$ )
2014	Atas – bawah	37	34	37
2016	Atas – bawah	39,3	39,4	38,1
2018	Atas – bawah	45,8	40,6	39,7

Tabel 4. Data arus

Tahun	Lokasi	Arus (Ampere)
2014	Gondangrejo 2	298
2016	Gondangrejo 2	335
2018	Gondangrejo 2	330

Sesuai dengan standar P3B O&M PMT/001.01, nilai maksimum tahanan kontak yang diijinkan adalah 50  $\mu\Omega$ . Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai tahanan kontak dalam tiga periode pemeliharaan hasilnya masih di bawah batas yang diijinkan, tetapi nilainya selalu mengalami kenaikan dalam setiap periode pemeliharaan. Nilai tahanan kontak pada pemutus tenaga diusahakan sekecil mungkin, hal tersebut akan membuat rugi daya yang disebabkan oleh tahanan kontak akan lebih kecil juga. Besarnya rugi daya yang ditimbulkan akibat tahanan kontak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (1)$$

Dengan:

$P_{loss}$  = Rugi daya ( Watt)

$I$  = Arus (Ampere)

$R$  = Resistansi (Ohm)

Berikut adalah hasil perhitungan rugi daya yang disebabkan adanya tahanan kontak.

Tahun 2014

$$P_{loss} \text{ fasa R} = (298 \text{ A})^2 \times (37 \times 10^{-6} \Omega) = 3,2857 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa S} = (298 \text{ A})^2 \times (34 \times 10^{-6} \Omega) = 3,0193 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa T} = (298 \text{ A})^2 \times (37 \times 10^{-6} \Omega) = 3,2857 \text{ Watt}$$

Tahun 2016

$$P_{loss} \text{ fasa R} = (335 \text{ A})^2 \times (39,3 \times 10^{-6} \Omega) = 4,4104 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa S} = (335 \text{ A})^2 \times (39,4 \times 10^{-6} \Omega) = 4,4217 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa T} = (335 \text{ A})^2 \times (38,1 \times 10^{-6} \Omega) = 4,2756 \text{ Watt}$$

Tahun 2018

$$P_{loss} \text{ fasa R} = (330 \text{ A})^2 \times (45,8 \times 10^{-6} \Omega) = 4,9876 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa S} = (330 \text{ A})^2 \times (40,6 \times 10^{-6} \Omega) = 4,4213 \text{ Watt}$$

$$P_{loss} \text{ fasa T} = (330 \text{ A})^2 \times (39,7 \times 10^{-6} \Omega) = 4,3233 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa rugi daya yang diakibatkan oleh tahanan kontak memiliki nilai yang berbeda beda. Pada setiap periode pemeliharaan rugi daya yang disebabkan oleh tahanan kontak selalu mengalami kenaikan. Semakin besar nilai tahanan kontak maka akan semakin besar pula rugi daya yang ditimbulkan. Selain itu, arus yang mengalir pada kontak PMT juga mempengaruhi besarnya rugi daya. Semakin besar arus yang mengalir maka rugi daya juga akan semakin besar. Apabila nilai tahanan kontak masih di bawah nilai standar yang diijinkan yaitu  $50 \mu\Omega$ , maka perbaikan terhadap kontak pemutus tenaga (PMT) tidak perlu dilakukan. Pengujian tahanan kontak sangat diperlukan agar dalam setiap periode pemeliharaan nilai tahanan kontak dapat diketahui, sehingga apabila nilainya tidak sesuai dengan standard yang diijinkan bisa dilakukan perbaikan terhadap kontak PMT. Perbaikan dilakukan dengan

melakukan pengecekan secara menyeluruh terhadap kontak PMT kemudian dilakukan uji ulang. Apabila nilai tahanan kontakannya masih diatas standar yang diijinkan maka perlu dilakukan pergantian PMT baru.

### 3.3 Pengujian Tahanan Pentanahan

Titik netral peralatan dalam sistem tenaga listrik akan dihubungkan ke tanah pada sistem pentanahan yang ada di gardu induk. Sistem pentanahan yang ada di gardu induk Palur dibuat dalam tanah dengan struktur berbentuk *mesh*. Nilai tahanan pentanahan di gardu induk sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah. Semakin kecil nilai pentanahannya maka akan semakin baik. Berikut adalah data hasil pengukuran tahanan pentanahan pemutus tenaga bay Gondangrejo 2 di gardu induk Palur.

Tabel 5. Data hasil pengukuran tahanan pentanahan

Tahun	Titik Ukur	R ( $\Omega$ )	S ( $\Omega$ )	T ( $\Omega$ )
2014	Terminal pentanahan	0,3	0,3	0,3
2016	Terminal pentanahan	0,3	0,3	0,3
2018	Terminal pentanahan	0,3	0,3	0,3

Berdasarkan standar IEEE std 80: 2000 (*guide for safety in ac substation - grounding*), nilai pentanahan yang diijinkan pada sistem tenaga listrik di gardu induk adalah  $\leq 1$  Ohm. Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa dalam beberapa periode pemeliharaan, nilai tahanan pentanahannya masih dalam batas yang diijinkan bahkan memiliki nilai tahanan pentanahan yang kecil. Dalam 3 periode pemeliharaan terakhir nilai tahanan pentanahannya selalu sama antara fasa R, fasa S maupun fasa T. Hal tersebut bisa terjadi karena sistem pentanahan di gardu induk Palur menggunakan sistem pentanahan berbentuk *mesh*. Pada sistem pentanahan jenis *mesh* semua konduktor pentanahan pada peralatan di gardu induk terhubung satu sama lain yang membuat perbedaan tegangan sistem pentanahan pada beberapa peralatan di gardu induk lebih merata. Apabila konduktor pentanahan dalam keadaan baik dan tidak ada sambungan yang terputus maka nilai tahanan pentanahannya akan lebih seimbang. Hal tersebut membuktikan bahwa sistem pentanahan yang ada di gardu induk Palur berfungsi dengan baik. Sistem pentanahan yang tidak baik atau memiliki nilai di atas standar yang diijinkan akan membahayakan manusia yang berada di sekitarnya. Nilai tahanan pentanahan yang tinggi akan menyebabkan gradien tegangan di permukaan tanah juga tinggi. Hal tersebut dapat membuat arus gangguan mengalir ke tubuh manusia yang berada di sekitar titik pentanahan pada

peralatan tersebut. Pengujian tahanan pentanahan pada peralatan harus dilakukan secara berkala agar peralatan dapat mengalirkan arus ke tanah apabila ada gangguan dan aman bagi manusia yang ada di sekitarnya.

### 3.4 Pengujian keserempakan kontak

Pengujian keserempakan kontak pemutus tenaga (PMT) dilakukan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan kontak saat membuka maupun menutup. Pemutus tenaga *bay* Gondangrejo 2 menggunakan tipe *single pole* dengan tujuan apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah PMT dapat trip satu fasa dan dapat *reclose* satu fasa. Saat terjadi gangguan pada penghantar fasa-fasa atau tiga fasa maka PMT harus trip tiga fasa secara serentak. Apabila PMT tidak dapat trip secara serentak akan menyebabkan gangguan pada sistem yang ada di gardu induk. Berikut adalah data hasil pengujian keserempakan pemutus tenaga (PMT) *bay* Gondangrejo 2 dalam beberapa periode pemeliharaan.

Tabel 6. Data pengujian keserempakan kontak PMT

Tahun	Pengukuran	R (ms)	S (ms)	T (ms)
2014	<i>Close</i>	96,85	98,85	94,9
	<i>Open</i>	45,0	41,50	41,50
2016	<i>Close</i>	101,0	101,3	97,7
	<i>Open</i>	32,9	42,9	43,8
2018	<i>Close</i>	96,3	97,3	95,6
	<i>Open</i>	39,8	41,6	438

Berdasarkan standar SPLN No 52-1 1984 waktu maksimum membuka dan menutup kontak PMT untuk sistem 150 kV selama 120 mili detik. Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa waktu kerja kontak PMT secara individu dalam tiga periode pemeliharaan masih di bawah nilai yang disyaratkan. Waktu kerja kontak PMT pada saat *close* lebih lama daripada waktu kerja PMT pada saat *open*. Kemudian untuk keserempakan kotak dapat dihitung dengan membandingkan selisih nilai tertinggi dengan nilai terendah. Berdasarkan standar yang telah ditetapkan selisih waktu yang diijinkan adalah  $< 10$  mili detik.

$$\Delta t = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}} \quad (2)$$

Dengan:

$\Delta t$  = Selisih waktu

$t_{maks}$  = waktu tertinggi

$t_{min}$  = waktu terendah

Berikut adalah hasil perhitungan keserempakan kontak PMT.

Tahun 2014

$\Delta t_{close}$  = 98,85 ms – 94,9 ms = 3,95 ms

$\Delta t_{open}$  = 45,0 ms – 41,50 ms = 3,5 ms

Tahun 2016

$\Delta t_{close}$  = 101,3 ms – 97,7 ms = 3,6 ms

$\Delta t_{open}$  = 43.8 ms – 32,9 ms = 10,9 ms

Tahun 2018

$\Delta t_{close}$  = 97,3 ms – 95,6 ms = 1,7 ms

$\Delta t_{open}$  = 43,8 ms – 39,8 ms = 4 ms

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan rata rata keserempakan kontak pemutus tenaga pada bay Gondangrejo 2 masih memenuhi standar, tetapi pada tahun 2016 keserempakan kontak pada saat *open* (membuka) selisih waktunya adalah 10,9 mili detik, jadi tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan. Hal tersebut tentunya harus dilakukan perbaikan dan dilakukan uji ulang. Perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan beberapa pemeriksaan, diantaranya adalah pemeriksaan tegangan kerja, pemeriksaan koil, pemeriksaan *auxillary contact*/kontaktor, penggantian *part* mekanik yang rusak, pemeriksaan roda penggerak dan perbaikan mekanik penggerak. Perbedaan selisih waktu yang terlalu lama akan mengakibatkan adanya lonjakan arus maupun tegangan pada fasa lainnya yang akan menyebabkan rusaknya peralatan lain yang terhubung pada PMT tersebut. Pemeliharaan secara berkala dengan melakukan pengujian keserempakan kontak PMT sangat diperlukan agar PMT dapat bekerja secara serempak dan dalam waktu yang cepat, sehingga kerusakan peralatan yang disebabkan tidak serempaknya PMT saat menutup (*close*) maupun membuka (*open*) dapat diminimlaiser.

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan perhitungan dan analisis terhadap data yang diperoleh mengenai analisis pengujian pemutus tenaga bay Gondangrejo 2 di gardu induk Palur, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a). Secara keseluruhan pemutus tenaga (PMT) bay Gondangrejo 2 di gardu induk Palur masih layak digunakan dan dapat bekerja dengan baik.

- b). Nilai tahanan isolasi pada pemutus tenaga *bay* Gondangrejo 2 memiliki nilai yang bervariasi dalam setiap periode pemeliharaan, nilai tahanan isolasi antar fasa juga berbeda-beda.
- c). Nilai kemampuan isolasi terkecil dalam 3 periode pemeliharaan terakhir adalah 1.434 M $\Omega$ /kV, nilai tersebut masih memenuhi standar yaitu  $\geq 1$  M $\Omega$ /kV
- d). Nilai tahanan pentanahan PMT *bay* Gondangrejo 2 memiliki nilai yang sama dalam 3 periode pemeliharaan yaitu 0,3  $\Omega$ , nilai tersebut masih memenuhi standar yaitu  $\leq 1$  Ohm.
- e). Pada pengujian keserempakan kontak PMT nilainya bervariasi dalam setiap periode pemeliharaan, waktu kerja kontak secara individu masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu di bawah 120 mili detik.
- f). Pada tahun 2016 selisih waktu kerja tertinggi antar fasa (keserempakan) saat PMT membuka (*open*) adalah 10,6 mili detik, nilai tersebut tidak memenuhi standar yaitu  $<10$  mili detik, tetapi setelah dilakukan perbaikan pada tahun 2018 selisih waktunya menjadi 4 mili detik.

## PERSANTUNAN

Dalam penyusunan laporan penelitian ini tentu tidak terlepas dari dukungan dari beberapa pihak, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan baik. Dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- 1). Allah SWT atas segala nikmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan baik.
- 2). Nabi Muhammad SAW atas segala ilmu yang telah beliau ajarkan kepada umatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
- 3). Bapak dan ibu atas doa dan pengorbanan waktu maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan lancar.
- 4). Kakak terhebat yang senantiasa memberikan dukungan dan motifasinya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini.
- 5). Bapak Agus Supardi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan baik.
- 6). Semua dosen jurusan teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta atas segala ilmu yang telah diberikan sehingga memudahkan penulis menyelesaikan laporan penelitian ini.
- 7). Seluruh teman-teman teknik elektro 2015 yang selalu mendukung penulis dalam proses pembelajaran selama ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bobdey D S, A A Bhole, 2014, *Dynamic Contact Resistance Measurement on HV Circuit Breaker*, International Journal of Engineering Research and Technology (IJRET) Volume 3
- D Ingle Amrapali, Warsha Kandtikar, 2017, *Electronic Circuit Breaker*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume 04
- Saravanan, Amer Nasr A. Elghaffar, yehlasayedm. Ali, Adel A.Elbaset Mohamed, 2015, *The Optimum Test for High Voltage SF<sub>6</sub> Circuit Breaker in the New Substation Before Energize with the National Grid*, International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research, Volume 3, ISSN 2347-4289
- Sethi Harshita, Shivani Ashra, Sukriti Lal, 2013, *A Case Study Hybrid Circuit Breaker*, The International Journal of Engineering and Science Volume 2 Page 37-40
- Sharma Snigdha, Hemant Bharadwaj, 2012, *How To Maintain SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*, International Journal of Scientific Research Engineering and Technology (IJSRET) Volume 1, ISSN 2278-0882
- SKDIR 114.K/DIR/2010,2010, *Himpunan Buku Petunjuk Batasan Operasi Dan Pemeliharaan Penyaluran Tenaga Listrik - Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga* No dokumen : 7-22/ HARLUR-PST/2009, PT PLN (Persero), Jakarta. Indonesia